

水惑星灰色大気大循環の数値実験 ~ Ishiwatari et al. (1998) の再試 part 2

Y.Kawai (2016/09/14)

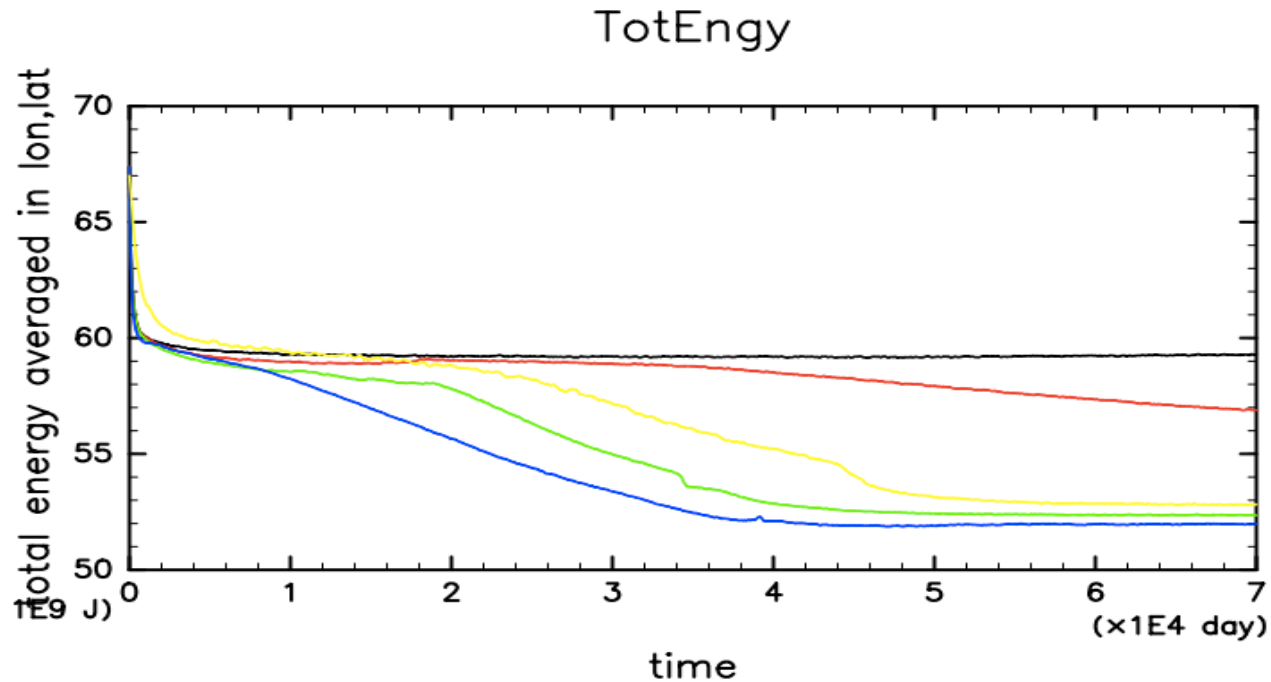
背景と目的

- 前回, DCPAM5 において Ishiwatari et al.(1998) の水惑星灰色大気大循環の数値実験を再現するような実験設定を示した.
- 再試実験の設定を探る中で, 統計的平衡状態の大気上層の構造が, 水平拡散の時定数に依存する可能性が示唆された.
 - INTH98 に最も近い実験設定を与えた時に, 初期の比湿や水平解像度にどう依存性するかは前回は調べられなかった.
- ここでは, INTH98 に最も近い実験設定を与えた時に, 大気構造が水平拡散の時定数, 初期の比湿, 水平解像度にどう依存するかを確認する.

実験シリーズ

- CNTRL
 - INTH98 に最も近いと思われる実験 (設定の詳細は付録スライド参照)
- HDIFF8_12hrs
 - 最大波数に対する水平粘性拡散の時定数: 12 hour, それ以外は CNTRL と同じ
- HDIFF8_24hrs
 - 最大波数に対する水平粘性拡散の時定数: 24 hour, それ以外は CNTRL と同じ
- SEMILAG
 - 水蒸気の移流をセミ・ラグランジュ法で計算 (水蒸気に対する水平拡散は含まれない)
- Qvlni_1e-4
 - 初期の水蒸気の比湿 $1e-4$ [kg/kg]
- T42
 - 水平解像度 T42
 - 70,000 日積分
 - T42 実験は CNTRL の最終状態を初期値にして, 100 年積分

計算結果: 時系列



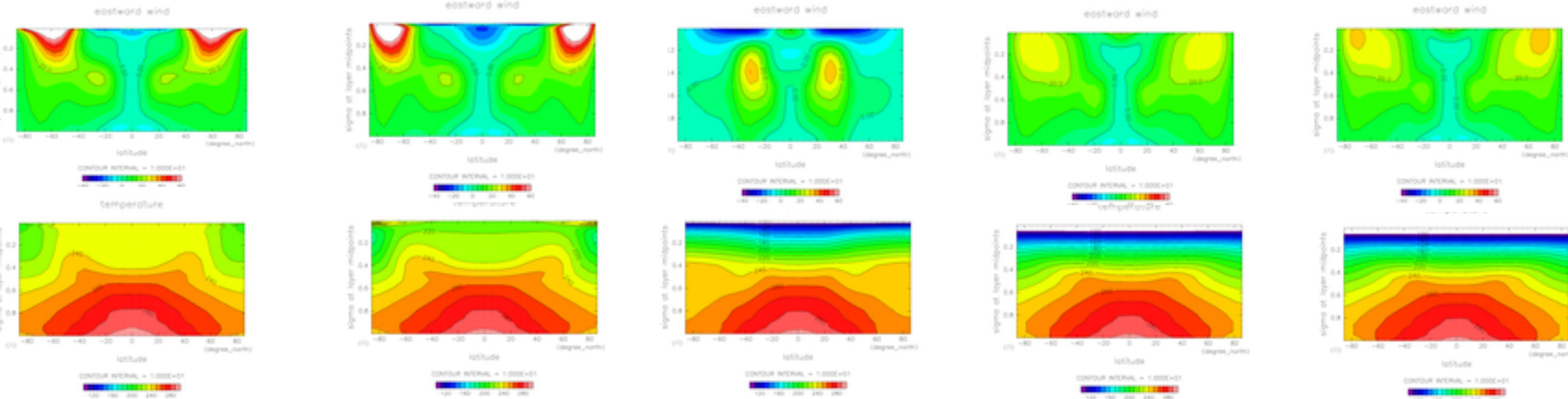
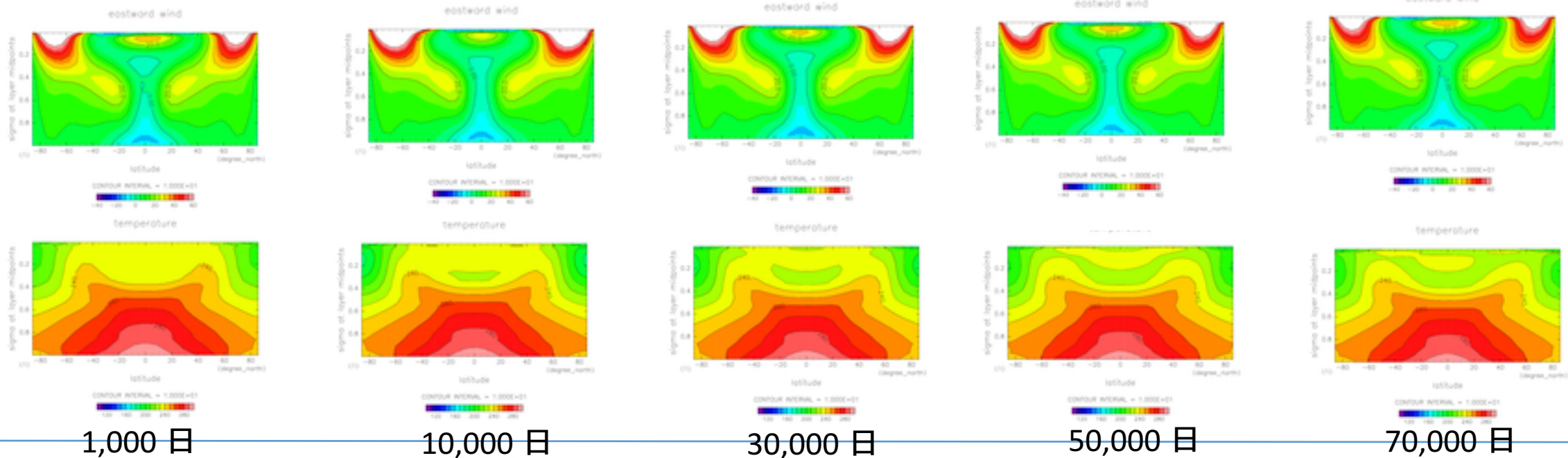
- 初期の比湿が $1e-4$ kg/kg の場合や水平拡散が弱い場合には, 大気上層が非常に低温な解(次のページ参照)に落ち着く.
 - 遷移の始まるタイミングは, 水平拡散が弱いほど, また初期の水蒸気量が少ないほど早く起こる.
- HDIFF8_12hrs は遷移の始まるタイミングが遅く, その時間も長い. 70000 日の時点では, 統計的平衡状態に落ち着いていない.

計算結果: 時系列

上段: 東西風の子午面分布
下段: 温度の子午面分布

CNTRL

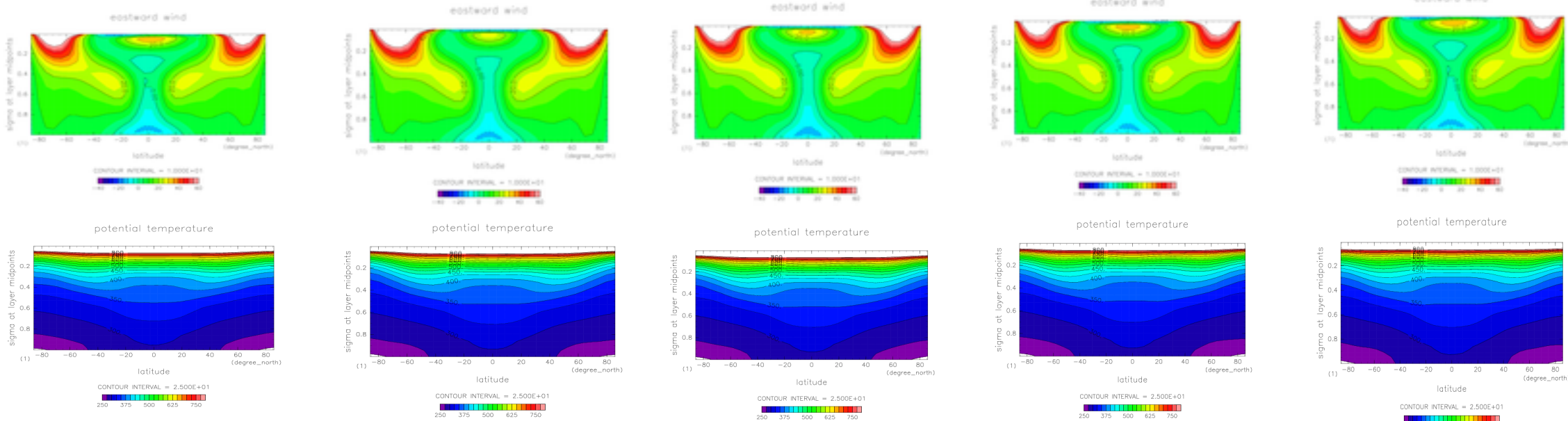
HDIFF8_24hrs



計算結果: 時系列

上段: 東西風の子午面分布
下段: 温位の子午面分布

CNTRL



1,000 日

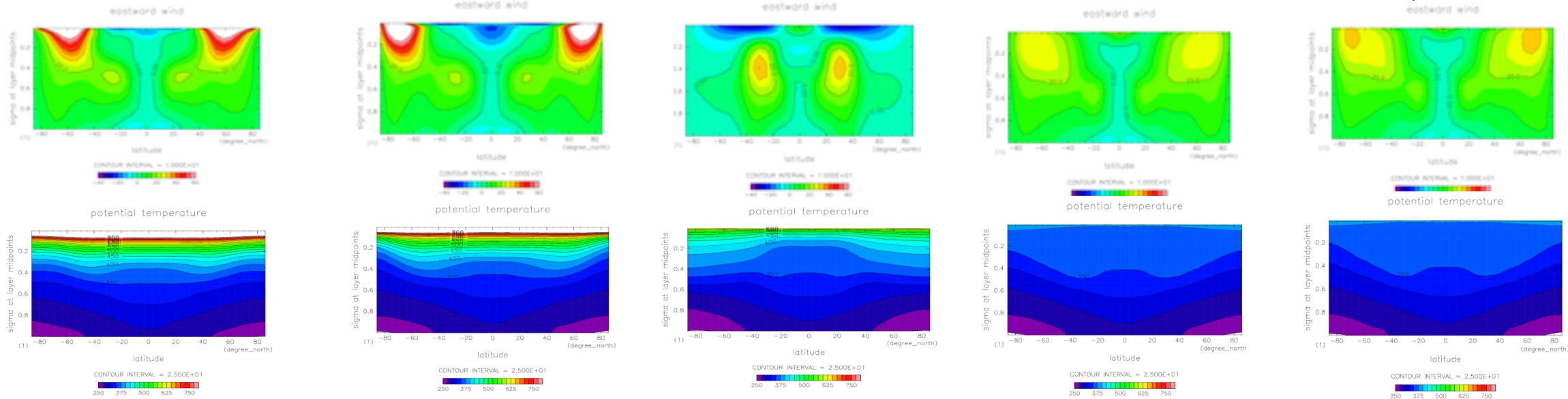
10,000 日

30,000 日

50,000 日

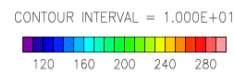
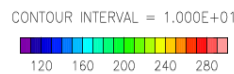
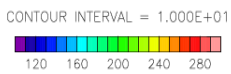
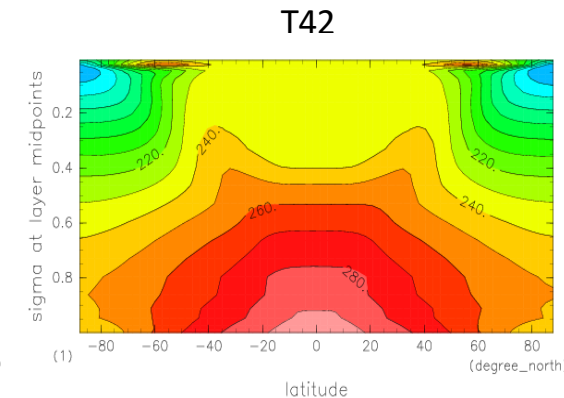
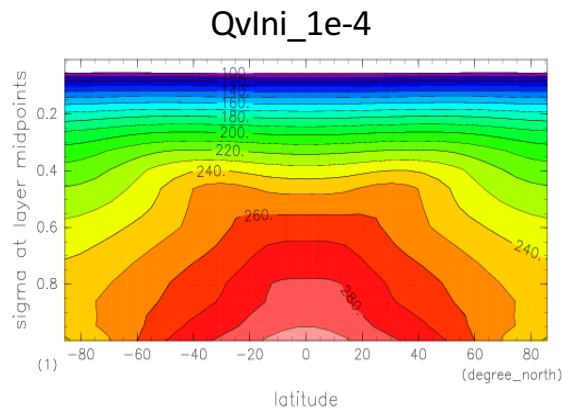
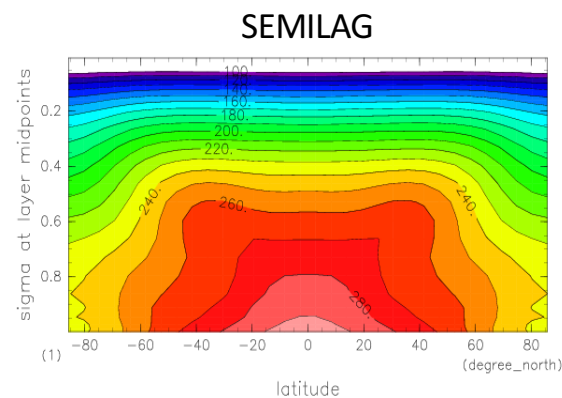
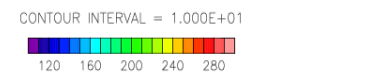
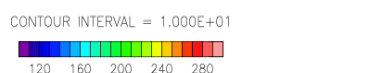
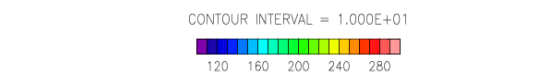
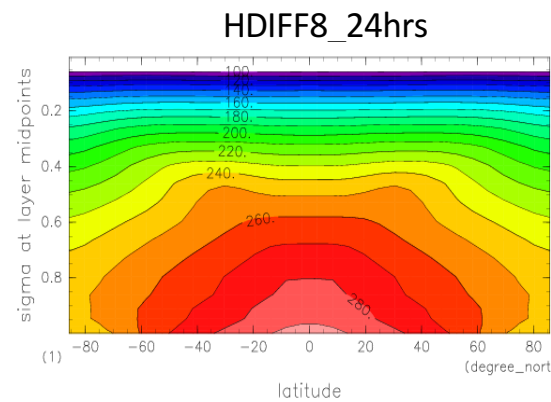
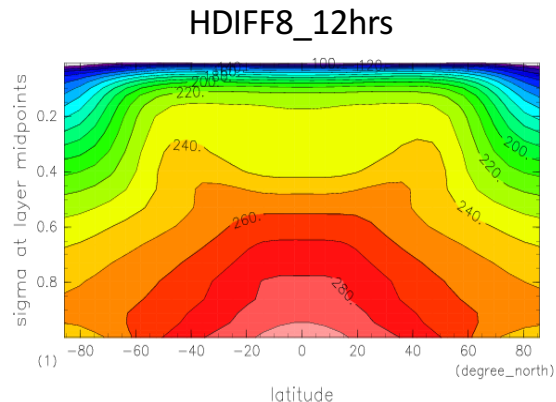
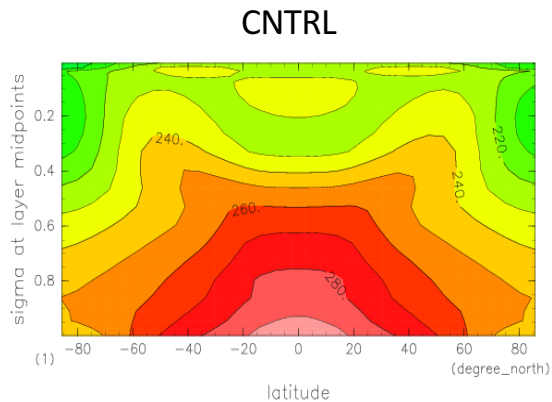
70,000 日

HDIFF8_24hrs



計算結果: 統計的平衡状態

温度の子午面分布



- 水平拡散が弱い, また初期の水蒸気量が少ない実験設定ほど, 大気上層の温度が低くなる。

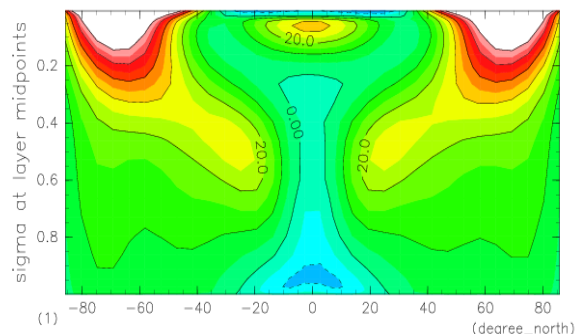
- 水平解像度を上げた実験 (T42)では, 同空間スケールに対して CNTRL よりも水平拡散が弱い, 上層の温度が低い解 (HDIFF8_24hrs) には落ち着かなかった。

- CNTRL と HDIFF8_12hrs の間の特徴を持つように見える。

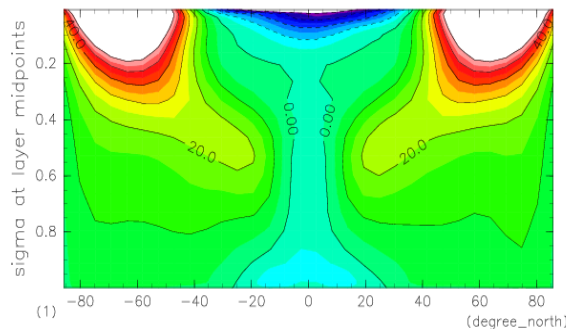
計算結果: 統計的平衡状態

東西風の子午面分布

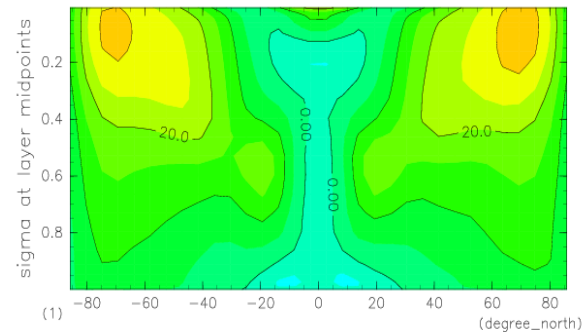
CNTRL



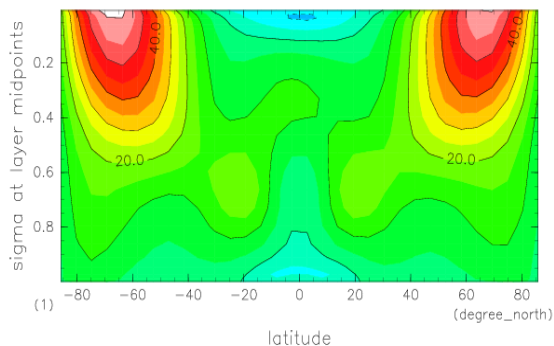
HDIFF8 12hrs



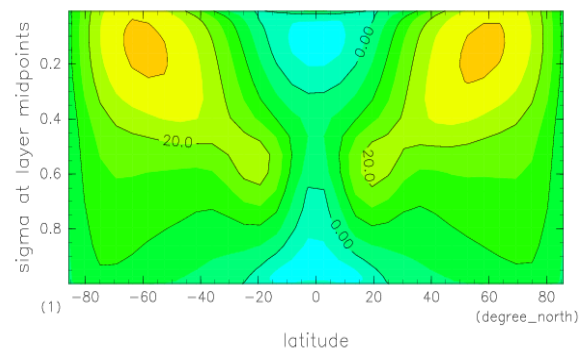
HDIFF8_24hrs



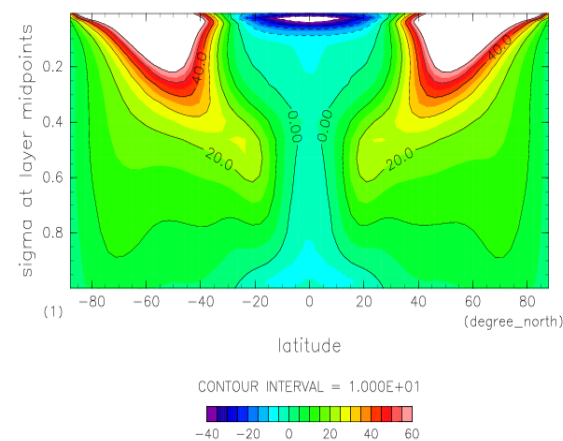
SEMILAG



Qvlni_1e-4



T42

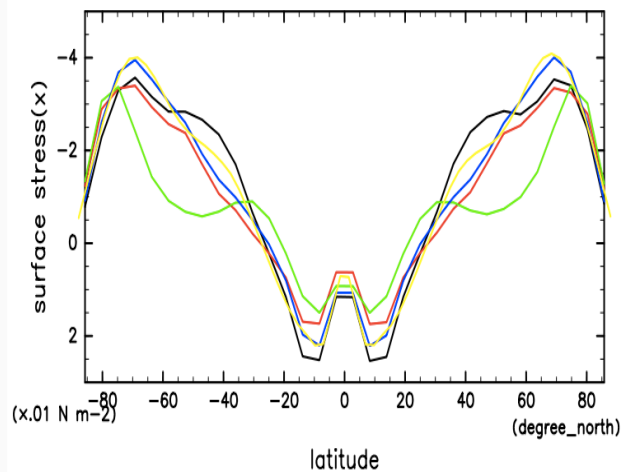


- 大気上層の水平温度構造と対応して, 大気上層の東西ジェット分布や強さが異なる.
 - 上層の温度が低い解に比べ, CNTRL, T42 の西風ジェットは高速(~ 100 m/s)
 - T42 では上層における西風ジェットの幅が狭る. CNTRL で見られた低緯度西風ジェットは消失
- 温度場と同様に, 一見したところ下層の特徴に大きな違いは見られない.
 - 惑星表面における物理量の分布の違いを確認 (次スライド)

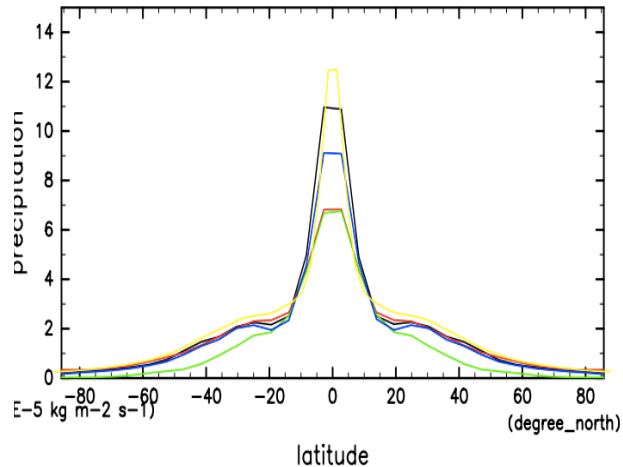
計算結果: 統計的平衡状態 (惑星表面)

CNTRL: 黒
HDIFF8_24hrs: 赤
SEMILAG: 緑
Qvlni1e-4: 青
T42: 黄

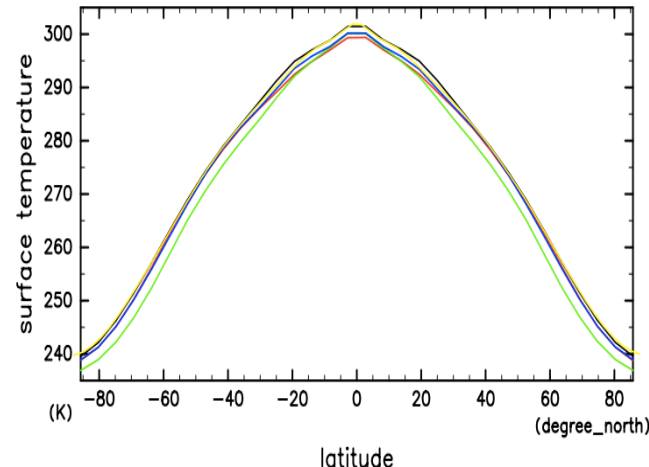
surface stress(x)



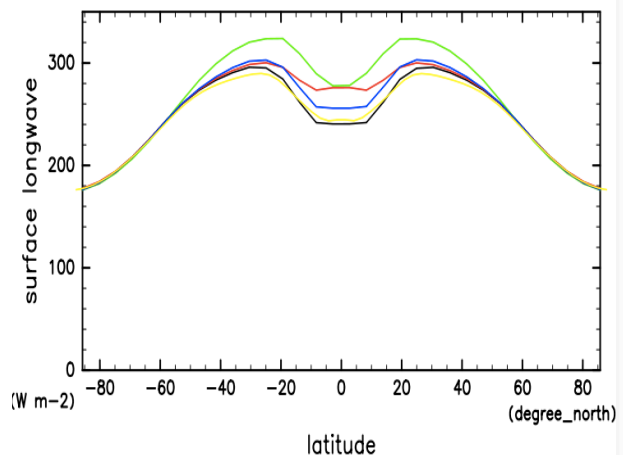
precipitation



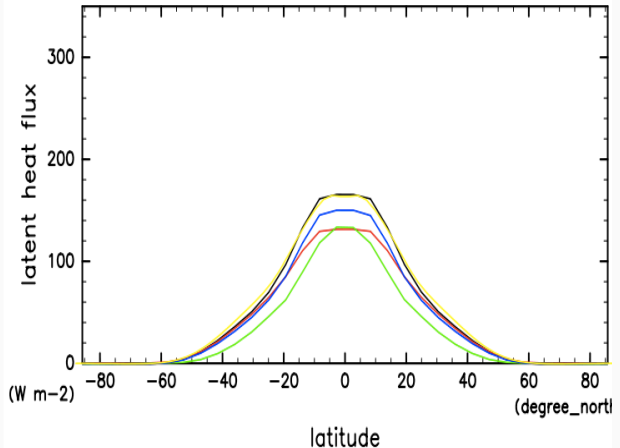
surface temperature



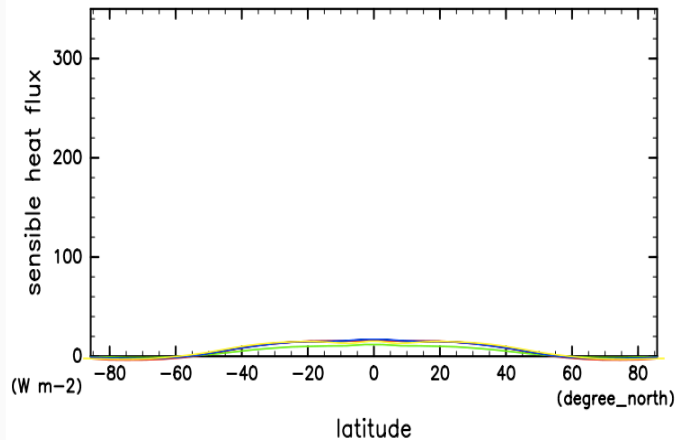
surface longwave



latent heat flux



sensible heat flux



- 風応力, 降水量, SST の大規模なパターンは, SEMILAGを除いて, 実験ケース間で違いは小さいように見える.
- 低緯度の降水量は, 大気上層が低温になる解の方が少ない.
- 低・中緯度域における地表面熱収支の内訳は, 実験ケース間で違いある. (正味のフラックスとして見ると大きな差はない)

まとめ

- DCPAM を用いた INTH98 の再現実験において, 大気上層の構造が水平拡散の時定数, 初期の水蒸気量, 水平解像度によってどのように依存するかを確認した.
- CNTRL よりも水平拡散の時定数を長く(水平拡散を弱く)する, あるいは初期の水蒸気量を少なくすると, 上層が低温な解に落ち着くことが分かった.
- 水平解像度を上げた場合には, 上層が非常に低温な解に落ち着くことを予期していたが, CNTRL と HDIFF8_12hrs の間の特徴を持つ解に落ち着いた.
- 一方で, 大気下層や惑星表面の分布には, 劇的な違いをもたらしていないように見えた.
 - ただし, SEMILAG から得られた分布は, 他のケースとやや異なるパターンを持っていた.

付録

198 の実験を再現するDCPAM の設定(1)

- 解像度
 - T21L26
- 惑星パラメータ
 - 惑星半径, 自転角速度, 自転傾斜角は地球と同じ値
- 大気成分
 - 乾燥空気の分子量は水蒸気と同じ値にする ($\sim 18 \times 10^{-3}$ [kg/mol])
- 放射過程
 - 灰色大気放射(Nakajima et al. 1992)
 - 水蒸気による長波放射の吸収のみ考慮(吸収係数 10^{-2} [m²/kg])
 - 年平均・日平均した太陽放射フラックスを大気上端で与える
- 力学過程
 - 水平粘性・水平拡散: 8 次(ラプラシアン 4 つ), 最大波数に対する減衰の時定数 3 時間
 - 物質移流: スペクトル法
- 凝結過程
 - 対流調節 (Manabe et al., 1965)
 - 雲なし (雲の寿命は 0 秒)
- 惑星表面
 - Swamp 条件

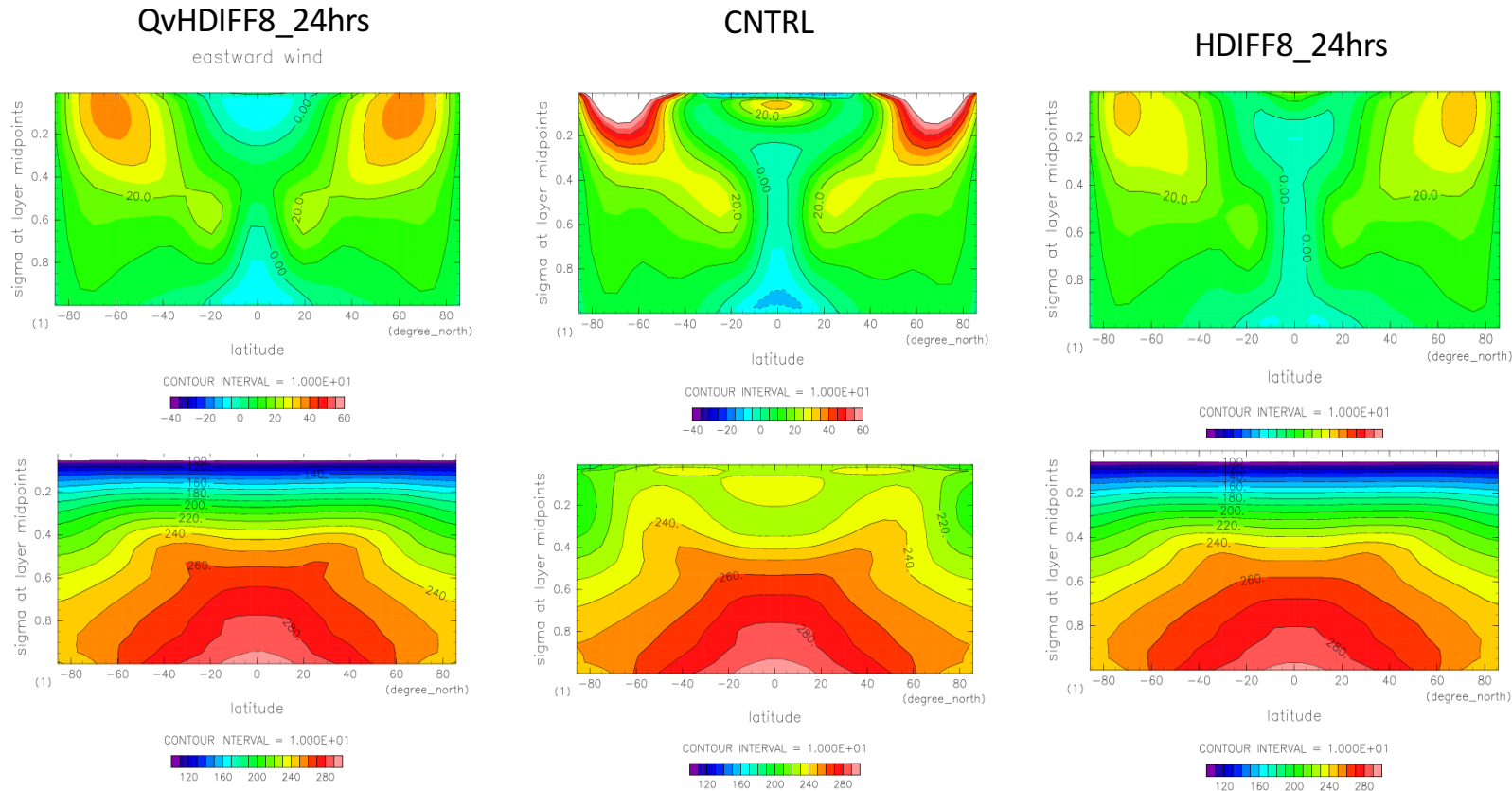
198 の実験を再現するDCPAM の設定(2)

- 初期条件
 - 一様な比湿(10^{-3} [kg/kg])をもつ, 280 K の等温静止大気
- 積分時間
 - 1000 日程度
 - ただし, 統計的平衡状態を得るにはもっと時間積分が必要. この後示す再現実験では 70,000 日積分を行った.

水蒸気の水平拡散のみを弱めた実験

- QvHDIFF8_24hrs: 水蒸気に対する水平拡散のみ弱めて(時定数 24 時間), 他の設定は CTRL と同じ.

統計的平衡状態における東西風(上段), 温度(下段)の子午面分布



- QvHDIFF8_24hrs は, HDIFF8_24hrs と似た大気上層が低温である解に落ち着いた.
- CNTRL と異った大気上層の特徴は, 「水蒸気」の取り扱い(水平拡散, 初期条件)と深く関係している.